

208份春小麦资源抗条锈性评价及抗病基因检测

郭阳¹, 卢恩钰¹, 周小妹¹, 郭青云¹, 康振生², 姚强¹

(1. 青海大学农林科学院/青海省农业有害生物综合治理重点实验室, 青海西宁 810016;

2. 西北农林科技大学作物抗逆与高效生产全国重点实验室, 陕西杨凌 712100)

摘要:青海是中国小麦条锈病的越冬菌源区之一。为探明青海现有小麦生产品种和后备种质资源对小麦条锈病的抗性水平及抗条锈病基因的分布,本研究利用小麦条锈菌生理小种 CYR31 和优势生理小种 CYR32、CYR33、CYR34 对 208 份供试小麦资源进行苗期和成株期抗病性鉴定,并利用基因芯片检测其所携带的抗条锈基因。结果表明,80 份(38.5%)材料对 CYR31、CYR32、CYR33 和 CYR34 均表现抗病;结合成株期抗病鉴定结果,125 份(60.1%)材料表现成株抗条锈性,74 份(35.6%)材料表现为全生育期抗性。通过分子检测,204 份(98.1%)、114 份(54.8%)、70 份(33.7%)、66 份(31.7%)、59 份(28.4%)、54 份(26.0%)、45 份(21.6%)、31 份(14.9%)、16 份(7.7%)、1 份(0.5%)、193 份(92.8%)、168 份(80.8%)、147 份(70.7%)、124 份(59.6%)、107 份(51.4%)、86 份(41.3%)、77 份(37.0%)、36 份(17.3%)、26 份(12.5%)、20 份(9.6%)、18 份(8.7%)材料分别携带 *Yr29*、*Yr78*、*YrZH58*、*Yr5*、*Yr75*、*Yr80*、*Yr30*、*Yr26*、*Yr82*、*YrSP*、*QYrqin-2AL*、*QYr.nwafu-3BS*、*QYrsn.nwafu-1BL*、*QYrqin-6BS*、*QYrxn-1BL*、*QYrqin-2BL*、*QYrsn-6BS*、*QYrsn-2AS*、*QYrsn-3DL*、*QYrhm-2BC* 和 *QYr-4BL* 基因。本研究检测了当前青海省小麦种质资源抗病性水平及所携带的抗病基因,可为小麦抗病育种及抗病基因的合理布局提供理论依据。

关键词: 小麦条锈病;抗病性评价;抗条锈病基因;分子检测;基因芯片

中图分类号:S512.1+2;S330

文献标识码:A

文章编号:1009-1041(2025)04-0448-14

Evaluation of Stripe Rust Resistance and Detection of Disease Resistance Genes in 208 Spring Wheat Resources

GUO Yang¹, LU Enyu¹, ZHOU Xiaomei¹, GUO Qingyun¹, KANG Zhensheng², YAO Qiang¹

(1. Qinghai Provincial Key Laboratory of Integrated Management of Agricultural Pests/Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Qinghai University, Xining, Qinghai 810016, China; 2. State Key Laboratory of Crop Stress Biology for Arid Areas, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: Qinghai Province is one of China's over-summering pathogen source areas of wheat stripe rust. To explore the resistance level and the distribution frequency of stripe rust resistance genes of the wheat varieties and germplasm resources in Qinghai Province, the resistance of 208 wheat resources at seedling and adult stages was identified using the physiological race CYR31 and dominant physiological races CYR32, CYR33, CYR34 of wheat stripe rust. The stripe rust resistance genes were detected by gene array. The results showed that 80 wheat varieties (accounting for 38.5% in total) were resistant to CYR31, CYR32, CYR33, and CYR34. Combined with the results of disease resistance identification at the adult stage, 125 (accounting for 60.1% in total) materials showed adult plant resistance to stripe rust, 74 (accounting for 35.6% in total) materials showed resistance during the whole growth period. The results of molecular detection showed that 204 (98.1%), 114 (54.8%),

收稿日期:2024-06-07

修回日期:2024-09-30

基金项目:国家重点研发计划项目(2021YFD1401000);青海省重点研发与转化计划项目(2022-NK-125)

第一作者 E-mail:gy15934588602@163.com(郭阳)

通讯作者 E-mail:yaoqiang2010@126.com(姚强)

70(33.7%), 66(31.7%), 59(28.4%), 54(26.0%), 45(21.6%), 31(14.9%), 16(7.7%), 1(0.5%), 193(92.8%), 168(80.8%), 147(70.7%), 124(59.6%), 107(51.4%), 86(41.3%), 77(37.0%), 36(17.3%), 26(12.5%), 20(9.6%), and 18(8.7%) materials carried *Yr29*, *Yr78*, *YrZH58*, *Yr5*, *Yr75*, *Yr80*, *Yr30*, *Yr30*, *Yr26*, *Yr82*, *YrSP*, *QYrqin-2AL*, *QYr.nwafu-3BS*, *QYrsn.nwafu-1BL*, *QYrqin-6BS*, *QYrxn-1BL*, *QYrqin-2BL*, *QYrsn-6BS*, *QYrsn-2AS*, *QYrsn-3DL*, *QYrhms-2BC* and *QYr-4BL*, respectively. This study systematically revealed the current level of disease resistance and the resistance genes carried by wheat germplasm resources in Qinghai Province. It provides a theoretical basis for wheat disease resistance breeding and the rational distribution of disease resistance genes.

Keywords: Wheat stripe rust; Evaluation of disease resistance; Stripe rust resistance gene; Molecular detection; Gene array

由条形柄锈菌小麦专化型 (*Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*) 引起的小麦条锈病是一种严重威胁小麦安全生产的气传性真菌病害,也是世界小麦主要流行病害之一,在世界各小麦主产区均有发生^[1]。小麦条锈病是影响中国小麦安全生产的重要生物灾害,对小麦生产具有毁灭性危害,中度流行年份减产 10%~20%,大流行年份减产 30%左右,特大流行年份减产 40%以上,甚至绝收^[2]。

目前国际已正式命名的抗条锈基因有 84 个 (*Yr1*~*Yr84*)^[3],这些已公布的小麦抗条锈病基因大部分为小种专化的全生育期抗性基因,少部分是成株期抗性基因或高温成株期抗性基因。中国育种家利用条锈病的抗源材料培育了许多抗病、高产品种,但是近 70 多年来,*Yr* 基因的过度利用和相同 *Yr* 基因的小麦品种及衍生品种的稳定选育,加速了条锈菌的定向适应性进化,产生了与 *Yr* 基因对应的新小种,导致了品种对条锈病抗性的崩溃^[4]。一般的抗病品种应用 3~5 年就失去了抗性,易引发条锈病的大流行。迄今,在中国已有 34 个条锈菌生理小种 (*CYR1*~*CYR34*) 以及多个致病类群被鉴定或命名。

自 1950 年以来,小麦条锈病在中国小麦主产区发生了 7~8 次大流行^[5],由于小麦条锈菌的变异引起每次流行后的小麦品种更替^[6]。自 2000 年以来,*CYR32* 和 *CYR33* 成为中国小麦条锈菌最主要的流行小种,因为它们能够克服许多传统的抗病基因,如 *Yr1*, *Yr2*, *Yr3*, *Yr4*, *Yr7*, *Yr9*, *Yr17*, *Yr27*, *Yr31*, *Yr41*, *YrSu* 等^[7]。2009 年发现贵农 22 致病类群新菌系 (G22-9),对抗病基因 *Yr24/Yr26* 表现毒性,导致部分地区的抗病品种丧失抗性^[8-9]。此后,G22-9 迅速发展成为优势小种,2016 年被正式命名为条中 34 号 (*CYR34*)^[10],其毒

力谱在 *CYR32* 和 *CYR33* 基础上又增加了对 *Yr10*、*Yr24/Yr26* 的毒性,毒性更为广泛^[11]。有研究发现,*Yr10* 和 *Yr24/Yr26* 基因赋予小种特异性全期抗性,对 *CYR32* 和 *CYR33* 仍然有效,但对 *CYR34* 无效^[8]。新小种的出现一部分原因是由于抗病品种的不合理分布,另一部分原因是抗病基因的遗传分化。因此,为了实现小麦抗病性品种的持续利用,合理利用抗病品种和配置抗病基因就显得格外重要。

明确品种携带的抗病基因可实现抗病基因的合理利用^[12]。近年来,基因组测序和以 SNP 为基础的高通量基因分型技术在小麦科研中有高效率、高精度度、可追溯性等优势,同时也改变了小麦研究方法^[13]。相对传统的分子标记,SNP 标记具有高分辨率的遗传多样性及基因功能的优势^[14]。目前,六倍体小麦中国春 (AABBDD) 和野生二粒小麦 *Zavitan* (AABB) 的全基因组参考序列已经发布^[15-16],小麦的祖先材料、面包小麦及硬粒小麦品种也已经测序完成^[17-18],这些参考基因组的研究成果有效促进了新一代分子标记 SNP 的开发^[19]。随后,小麦高通量 SNP 芯片及其平台 (Illumina Bead ArrayTM、Affymetrix Gene ChipTM) 相继开发使用^[20],以 SNP 为基础的平台加快了基因/QTL 图谱构建、全基因组关联分析 (GWAS) 和分子标记辅助选择育种在小麦锈病研究的进程^[21]。

青海是中国小麦条锈菌西北越夏区的重要组成部分,也是中国条锈病重要越夏菌源基地。现为中国 9-10 月份小麦条锈菌越夏面积最大、菌源量最大的菌源基地,直接影响中国青海省及其他麦区条锈病流行^[22]。鉴于此,本研究对青海省 208 份小麦种质资源进行了苗期分小种和成株期抗病性鉴定,使用 0.1K 的博瑞迪小麦功能基因液相芯片进行抗病基因的检测。博瑞迪小麦功能

基因液相芯片产品(GenoBaits[®] Wheat Small Panel, GBWSP)的开发依托于西北农林科技大学和中国农业科学院作物科学研究所科研团队,选用与抗生物/非生物逆境、产量、株型、生育期等性状相关的重要功能标记。进行抗条锈基因检测的同时,明确供试材料的抗条锈性及抗病基因分布,为综合利用抗条锈基因种质资源、开发培育新的抗病品种以及品种合理布局提供科学依据。

1 材料与方 法

1.1 材 料

供试小麦材料 208 份,具体信息见表 1;铭贤 169 为感病对照。小麦条锈菌生理小种为 CYR31、CYR32、CYR33、CYR34。所有供试小麦及条锈菌生理小种均由青海大学农林科学院植物保护研究所提供。

1.2 方 法

1.2.1 小麦苗期抗条锈性评价

小麦苗期抗条锈性鉴定在青海大学农林科学院温室进行。参照文献[23]方法,将供试材料播于外形 530 mm×270 mm,上口径 48 mm,深度 93 mm 的 5×10 孔长方形穴盘中,每穴种 1 份材料,每份材料种 5~10 粒种子,每份材料设 2 次重复。待小麦第一片叶完全展开时,将小种 CYR31、CYR32、CYR33、CYR34 的夏孢子分别与滑石粉按体积比 1:20 混合,用抖粉法进行接种,接种后置于 10℃保湿间黑暗保湿 24 h,之后放在人工培养室,温度控制在昼 15~18℃,夜 11~14℃,每天光照 12~14 h。待感病对照铭贤 169 充分发病后,按照 0~9 级反应型标准调查,0~6 级反应型为抗病,7~9 级反应型为感病^[23]。

1.2.2 小麦成株期抗条锈性评价

于 2023 年 4 月初在青海大通回族土族自治县东峡镇王庄村(37°2'N,101°19'E,海拔 2 656.5 m)设置人工接种病圃,对供试小麦材料按照编号顺序进行播种,每份材料播种 2 行,每行 25~30 粒,行长 100 cm,行距 25 cm。在试验田四周种植感病品种铭贤 169 作为诱发行,参照文献[24]方法,人工病圃于 6 月下旬滑石粉抖粉法接种条锈菌混合小种(CYR31、CYR32、CYR33 和 CYR34)于诱发行。8 月下旬当对照铭贤 169 发病严重度达到 80%时,对供试材料发病情况进行调查。参照农业部行业标准 NY/T 2953—2016《小麦区域试验品种抗条锈病鉴定技术规程》记录反应型、严

重度和普遍率。参照文献[25]的方法,调查结果以终反应型(IT)和严重度(S,病菌扩展面积/叶片总面积)为标准,针对不同熟期的供试材料或发病情况可以适时调查 2~3 次,将最高的反应型与严重度作为最终的记录结果。

1.2.3 抗病基因检测

利用苗期测试的叶片,四叶期左右采取适量的健康叶片用于 DNA 提取,采用 CTAB 法进行小麦基因组 DNA 提取,采用 NanoDrop 检测 DNA 浓度,并采用 1% 琼脂糖凝胶电泳检测 DNA 质量。DNA 文库构建主要包括以下 4 个方面:DNA 片段化、末端修复、DNA 接头连接和 DNA 文库扩增。DNA 探针杂交主要包括以下 6 个步骤:DNA 文库混合、文库杂交、目标捕获、文库扩增、产物纯化和产物质量检测,检测合格后将构建的 DNA 文库用华大 MGISEQ2000 测序仪进行测序^[26]。

采用 GBWSP 芯片进行功能基因检测,检测周期短、检测结果准确,可快速筛选携带优异等位变异的种质资源。

2 结果与分析

2.1 小麦种质资源苗期抗条锈性评价

小麦抗条锈性苗期鉴定结果(表 1)表明,供试的 208 份小麦材料中,126 份(60.6%)材料对 CYR31 表现抗病,168 份(80.8%)材料对 CYR32 表现抗病,156 份(75.0%)材料对 CYR33 表现抗病,143 份(68.8%)材料对 CYR34 表现抗病;其中,有 110 份(52.9%)材料对 CYR31 和 CYR32 均表现抗性;108 份(51.9%)材料对 CYR31 和 CYR33 均表现抗性;97 份(46.6%)材料对 CYR31 和 CYR34 均表现抗性;133 份(63.9%)材料对 CYR32 和 CYR33 均表现抗性;122 份(58.7%)材料对 CYR32 和 CYR34 均表现抗性;108 份(51.9%)材料对 CYR33 和 CYR34 均表现抗性;101 份(48.6%)材料对 CYR31、CYR32 和 CYR33 均表现抗性;87 份(41.8%)材料对 CYR31、CYR32 和 CYR34 均表现抗性;83 份(39.9%)材料对 CYR31、CYR33 和 CYR34 均表现抗性;97 份(46.6%)材料对 CYR32、CYR33 和 CYR34 均表现抗性;青麦 5 号、青麦 7 号、高原 776 等 80 份(38.5%)材料对 CYR31、CYR32、CYR33 和 CYR34 均表现抗性(表 1)。

表 1 208 份青海小麦品种(系) 苗期和成株期抗条锈性鉴定结果及抗病基因检测
 Table 1 208 Qinghai wheat varieties(lines) identification results of stripe rust resistance and resistance gene detection at seedling stage and adult plant stage

| 编号 Code | 名称 Germplasm | 苗期抗病性鉴定 Identification of disease resistance at seedling stage | | | | | 成株期抗病性鉴定 Identification of disease resistance at adult stage | | | | | 基因检测 Gene testing |
|------------|---------------------|--|-------|-------|-------|----|--|-----|---|--|--|----------------------|
| | | CYR31 | CYR32 | CYR33 | CYR34 | IT | S/% | P/% | | | | |
| 1 | 青春 37 Qingchun 37 | 9 | 7 | 6 | 7 | 8 | 60 | 100 | Yr75 + Yr80 + 2AA + 3BA + 4BA + 6BB | | | |
| 2 | 青春 38 Qingchun 38 | 6 | 0 | 0 | 7 | 3 | 5 | 10 | Yr29 + 2AA + 3BA + Yr80 + 6BB | | | |
| 3 | 青春 39 Qingchun 39 | 2 | 4 | 6 | 5 | 2 | t | t | Yr29 + Yr30 + Yr78 + 2AA + 2BB + 3BA | | | |
| 4 | 青春 40 Qingchun 40 | 2 | 1 | 2 | 2 | 3 | 10 | 100 | Yr29 + Yr80 + 2AA + 3BA + 6BB | | | |
| 5 | 青春 144 Qingchun 144 | 5 | 7 | 7 | 9 | 9 | 30 | 100 | Yr29 + 2AA + 2AB + 3BA + 6BA | | | |
| 6 | 青春 254 Qingchun 254 | 2 | 1 | 2 | 6 | 6 | 80 | 100 | Yr29 + 1BA + 1BB + 2AA + 2BB + 3BA + 6BA | | | |
| 7 | 青春 415 Qingchun 415 | 3 | 6 | 2 | 2 | 4 | 10 | 50 | Yr5 + Yr29 + Yr75 + 2AA + 2BB + 3BA + 6BA + 6BB | | | |
| 8 | 青春 524 Qingchun 524 | 9 | 2 | 1 | 9 | 8 | 10 | 20 | Yr29 + 1BA + 1BB + 2AA + 3BA + 6BA + 6BB | | | |
| 9 | 青春 533 Qingchun 533 | 8 | 3 | 7 | 5 | 9 | 80 | 100 | Yr29 + 1BB + 2AA + 3BA + 6BA | | | |
| 10 | 青春 570 Qingchun 570 | 7 | 2 | 7 | 0 | 9 | 30 | 100 | Yr29 + Yr75 + 1BA + 2AA + 2AB + 3BA + 3DA + 6BA + 6BB | | | |
| 11 | 青春 587 Qingchun 587 | 9 | 8 | 3 | 5 | 9 | 20 | 100 | Yr29 + Yr80 + 1BA + 2AA + 3BA + 6BA + 6BB | | | |
| 12 | 青春 952 Qingchun 952 | 2 | 1 | 9 | 0 | 8 | 20 | 60 | Yr29 + 1BB + 2AA + 2AB + 3BA + 6BA | | | |
| 13 | 青麦 1 号 Qingmai 1 | 3 | 2 | 2 | 6 | 4 | 60 | 100 | Yr29 + Yr78 + Yr80 + YrZH58 + 1BA + 2AA + 3BA | | | |
| 14 | 青麦 2 号 Qingmai 2 | 6 | 9 | 9 | 4 | 4 | 5 | 100 | Yr29 + Yr30 + Yr78 + 1BB + 2AA + 2BB + 3BA + 6BA | | | |
| 15 | 青麦 5 号 Qingmai 5 | 3 | 3 | 6 | 6 | 1 | t | t | Yr29 + Yr78 + Yr80 + YrZH58 + 1BA + 2AA + 3BA | | | |
| 16 | 青麦 6 号 Qingmai 6 | 7 | 9 | 5 | 8 | 9 | 100 | 100 | Yr5 + Yr29 + 1BA + 1BB + 2AA + 2BB + 3BA + 6BB | | | |
| 17 | 青麦 7 号 Qingmai 7 | 2 | 1 | 2 | 2 | 6 | 20 | 100 | Yr29 + Yr78 + Yr80 + Yr82 + YrZH58 + 1BA + 2AA + 2AB + 3BA + 6BA + 6BB | | | |
| 18 | 青麦 8 号 Qingmai 8 | 8 | 0 | 7 | 2 | 7 | 60 | 80 | Yr5 + Yr29 + Yr30 + Yr78 + 1BA + 1BB + 2AA + 2BB + 3BA + 6BA + 6BA | | | |
| 19 | 青麦 10 号 Qingmai 10 | 2 | 0 | 2 | 7 | 7 | 20 | 40 | Yr29 + Yr78 + Yr80 + 2AA + 2BB + 3BA + 6BA + 6BB | | | |
| 20 | 高原 115 Gaoyuan 115 | 0 | 0 | 7 | 0 | 9 | 90 | 100 | Yr5 + Yr29 + Yr78 + 1BA + 1BB + 2AA + 2BB + 3BA + 6BA + 6BB | | | |
| 21 | 高原 158 Gaoyuan 158 | 0 | 2 | 0 | 2 | 3 | 5 | 90 | Yr5 + Yr29 + Yr78 + 2AA + 3BA | | | |
| 22 | 高原 175 Gaoyuan 175 | 6 | 0 | 1 | 1 | 7 | 20 | 100 | Yr29 + 1BA + 1BB + 2AA + 3BA + 3DA + 6BB | | | |
| 23 | 高原 196 Gaoyuan 196 | 8 | 2 | 4 | 2 | 9 | 40 | 100 | Yr29 + Yr78 + 1BA + 2AA + 2BB + 3BA + 6BA + 6BB | | | |
| 24 | 高原 205 Gaoyuan 205 | 0 | 0 | 0 | 1 | 5 | 30 | 80 | Yr5 + Yr29 + Yr78 + 1BA + 1BB + 2AA + 2BB + 3BA + 6BA + 6BB | | | |
| 25 | 高原 213 Gaoyuan 213 | 2 | 2 | 0 | 6 | 4 | 5 | 10 | Yr5 + Yr26 + Yr29 + Yr82 + 1BB + 2AA + 3BA + 6BA + 6BB | | | |
| 26 | 高原 225 Gaoyuan 225 | 8 | 3 | 0 | 9 | 6 | 30 | 90 | Yr26 + Yr29 + 1BA + 1BB + 2BB + 3BA + 6BA | | | |
| 27 | 高原 293 Gaoyuan 293 | 6 | 3 | 3 | 2 | 0 | 0 | 0 | Yr5 + Yr29 + Yr30 + Yr75 + Yr78 + Yr80 + YrZH58 + 1BA + 2AA + 2BB + 3BA | | | |

(续表 1 Continued table 1)

| 编号 Code | 名称 Germplasm | 苗期抗病性鉴定 Identification of disease resistance at seedling stage | | | | | 成株期抗病性鉴定 Identification of disease resistance at adult stage | | | P / % | 基因检测 Gene testing |
|------------|----------------------|--|-------|-------|-------|----|--|-------|--|--|----------------------|
| | | CYR31 | CYR32 | CYR33 | CYR34 | IT | S / % | P / % | | | |
| 28 | 高原 314 Gaoyuan 314 | 9 | 2 | 0 | 8 | 9 | 10 | 100 | | Yr29 + IBA + IBB + 2AA + 3BA | |
| 29 | 高原 338 Gaoyuan 338 | 8 | 2 | 0 | 1 | 9 | 70 | 100 | | Yr29 + Yr75 + IBA + IBB + 2AA + 3BA | |
| 30 | 高原 356 Gaoyuan 356 | 0 | 3 | 7 | 9 | 9 | 40 | 20 | | Yr29 + Yr75 + IBA + 2BB + 3BA + 6BA + 6BB | |
| 31 | 高原 363 Gaoyuan 363 | 6 | 2 | 3 | 3 | 6 | 10 | 70 | | Yr5 + Yr29 + Yr78 + IBA + IBB + 2AB + 3BA + 6BB | |
| 32 | 高原 368 Gaoyuan 368 | 0 | 0 | 3 | 2 | 6 | 5 | 100 | | Yr5 + Yr29 + Yr75 + Yr78 + IBA + IBB + 2AB + 3BA + 6BB | |
| 33 | 高原 448 Gaoyuan 448 | 8 | 8 | 8 | 7 | 9 | 30 | 100 | | Yr29 + Yr78 + IBA + 2AA + 2BB + 3BA + 6BA + 6BB | |
| 34 | 高原 465 Gaoyuan 465 | 7 | 8 | 9 | 2 | 7 | 10 | 10 | | Yr5 + Yr29 + IBA + IBB + 2AA + 3BA | |
| 35 | 高原 466 Gaoyuan 466 | 7 | 5 | 2 | 2 | 8 | 20 | 30 | | Yr5 + Yr29 + IBA + IBB + 2AA + 3BA | |
| 36 | 高原 506 Gaoyuan 506 | 4 | 1 | 7 | 2 | 8 | 20 | 100 | | Yr29 + Yr75 + IBA + IBB + 2AA + 2BB + 3BA | |
| 37 | 高原 584 Gaoyuan 584 | 7 | 8 | 2 | 2 | 9 | 90 | 100 | | Yr29 + Yr75 + Yr78 + IBA + IBB + 2AA + 3BA + 3DA + 6BA + 6BB | |
| 38 | 高原 602 Gaoyuan 602 | 7 | 1 | 2 | 6 | 9 | 90 | 100 | | Yr80 + 2AA + 3BA + 6BA + | |
| 39 | 高原 776 Gaoyuan 776 | 2 | 1 | 5 | 1 | 3 | t | 70 | | Yr29 + Yr78 + Yr80 + YrZH58 + IBA + 2AA + 3BA | |
| 40 | 高原 813 Gaoyuan 813 | 9 | 2 | 7 | 0 | 9 | 20 | 100 | | Yr29 + YrZH58 + 2AA + 2BB + 3BA + 6BA | |
| 41 | 高原 814 Gaoyuan 814 | 0 | 9 | 4 | 7 | 9 | 10 | 100 | | Yr29 + YrZH58 + 2AA + 2BB + 3BA + 6BA | |
| 42 | 高原 913 Gaoyuan 913 | 9 | 9 | 7 | 8 | 9 | 70 | 100 | | Yr29 + Yr78 + YrZH58 + IBA + IBB + 2AB + 3BA + 3DA + 6BA + 6BB | |
| 43 | 高原 932 Gaoyuan 932 | 9 | 9 | 9 | 9 | 8 | 5 | 10 | | Yr29 + IBA + IBB + 2AA + 3BA + 3DA | |
| 44 | 高原 V028 Gaoyuan V028 | 0 | 7 | 8 | 1 | 8 | 5 | 40 | | Yr29 + Yr78 + YrZH58 + IBA + 2AA + 3BA + Yr30 + 3DA + 6BA | |
| 45 | 互助红 Huzhuhong | 7 | 1 | 2 | 9 | 6 | 10 | 100 | | Yr5 + Yr29 + Yr30 + IBA + IBB + 2AA + 2BB + 3BA + 6BB | |
| 46 | 柴春 018 Chaichun 018 | 7 | 8 | 1 | 2 | 9 | 30 | 100 | | Yr5 + Yr29 + IBA + 2AA + 2BB + 3BA + 4BA | |
| 47 | 柴春 044 Chaichun 044 | 8 | 8 | 2 | 2 | 9 | 60 | 100 | | Yr5 + Yr29 + Yr30 + Yr78 + Yr80 + 2AA + 2AB + 3BA + 6BB | |
| 48 | 柴春 236 Chaichun 236 | 7 | 0 | 9 | 9 | 8 | 40 | 100 | | Yr29 + IBA + IBB + 2AA + 2AB + 3BA | |
| 49 | 柴春 901 Chaichun 901 | 5 | 2 | 2 | 6 | 6 | 50 | 100 | | Yr5 + Yr29 + IBB + 2AA + 2AB + 3BA + 3DA + 4BA | |
| 50 | 阿勃 Abo | 8 | 7 | 0 | 8 | 9 | 40 | 100 | | Yr29 + IBB + 2AA + 2AB + 3BA + 3DA + 6BA | |
| 51 | 红农 1 号 Hongnong 1 | 1 | 3 | 7 | 1 | 2 | t | t | | Yr29 + IBB + 2AA + 2AB + 2BB + 3BA + 3DA + 6BB | |
| 52 | 互麦 13 号 Humai 13 | 2 | 8 | 5 | 3 | 6 | 10 | 100 | | Yr5 + Yr29 + Yr30 + IBA + IBB + 2AA + 3BA + 6BB | |
| 53 | 互麦 15 号 Humai 15 | 9 | 4 | 0 | 6 | 8 | 10 | 30 | | Yr5 + Yr29 + Yr80 + IBA + 2AA + 2BA + 3BA + 6BA + 6BB | |
| 54 | 青加 1 号 Qingjia 1 | 6 | 0 | 0 | 1 | 2 | t | t | | Yr29 + Yr30 + Yr75 + YYr78 + r80 + YrZH58 + 2AA + 2BA + 3BA | |
| 55 | 青加 2 号 Qingjia 2 | 0 | 2 | 0 | 2 | 5 | 20 | 100 | | Yr29 + Yr30 + Yr78 + Yr80 + YrZH58 + 2AA + 3BA + 6BA + 6BB | |

(续表 1 Continued table 1)

| 编号 Code | 名称 Germlasm | 苗期抗病性鉴定 Identification of disease resistance at seedling stage | | | | | 成株期抗病性鉴定 Identification of disease resistance at adult stage | | | 基因检测 Gene testing |
|------------|-------------------------|--|-------|-------|-------|----|--|-----|---|----------------------|
| | | CYR31 | CYR32 | CYR33 | CYR34 | IT | S/% | P/% | | |
| 56 | 青紫 1 号 Qingzi 1 | 2 | 2 | 1 | 3 | 5 | 60 | 100 | Yr29 + Yr78 + Yr80 + 1BA + 1BB + 2AA + 3BA + 6BA | |
| 57 | 通麦 1 号 Tongmai 1 | 8 | 0 | 8 | 6 | 7 | 10 | 80 | Yr29 + Yr30 + 1BA + 1BB + 2AA + 2AB + 2BB + 3BA + 6BA + 6BB | |
| 58 | 通麦 2 号 Tongmai 2 | 6 | 3 | 2 | 0 | 7 | 5 | 80 | Yr29 + Yr30 + 1BA + 1BB + 2AA + 3BA | |
| 59 | 墨引 1 号 Moyin 1 | 0 | 2 | 2 | 0 | 4 | 10 | 100 | Yr29 + Yr30 + Yr78 + YrZH58 + 1BA + 2AA + 3BA + 3DA + 6BA | |
| 60 | 墨引 2 号 Moyin 2 | 3 | 0 | 3 | 0 | 3 | 5 | 90 | Yr29 + Yr30 + Yr80 + YrZH58 + 1BA + 2AA + 3BA + 4BA + 6BA | |
| 61 | 乐麦 5 号 Lemai 5 | 9 | 1 | 3 | 8 | 8 | 20 | 60 | Yr5 + Yr29 + Yr75 + 1BA + 1BB + 2AA + 2BB + 3BA | |
| 62 | 乐麦 6 号 Lemai 6 | 7 | 8 | 2 | 7 | 9 | 80 | 100 | Yr5 + Yr29 + 1BA + 1BB + 2AA + 3BA | |
| 63 | 新哲 9 号 Xinzhe 9 | 7 | 0 | 8 | 0 | 8 | 5 | 20 | Yr29 + Yr75 + 1BA + 1BB + 2AA + 3BA + 6BA + 6BB | |
| 64 | 民和 588 Minhe 588 | 7 | 0 | 3 | 8 | 9 | 60 | 100 | Yr5 + Yr29 + Yr80 + YrZH58 + 1BA + 1BB + 2AA + 2AB + 3BA | |
| 65 | 民和 665 Minhe 665 | 2 | 2 | 1 | 7 | 6 | 80 | 100 | Yr29 + Yr80 + YrZH58 + 1BA + 2AA + 3BA + 6BA | |
| 66 | 民和 853 Minhe 853 | 2 | 0 | 0 | 0 | 6 | 70 | 100 | Yr29 + Yr80 + YrZH58 + 1BA + 2AA + 3BA + 6BA + 6BB | |
| 67 | Norwell | 3 | 2 | 6 | 5 | 1 | t | t | Yr29 + Yr78 + Yr82 + YrZH58 + 1BA + 2AA + 2AB + 3BA | |
| 68 | Major | 9 | 9 | 0 | 2 | 3 | 5 | 100 | Yr5 + Yr29 + Yr80 + 1BA + 2AA + 2AB + 3BA | |
| 69 | 蜀麦 580 Shumai 580 | 8 | 0 | 0 | 2 | 3 | 5 | 80 | Yr26 + Yr29 + Yr82 + Yr78 + 1BA + 2AA + 2BB + 3BA | |
| 70 | 蜀麦 830 Shumai 830 | 9 | 1 | 0 | 2 | 2 | 60 | 100 | Yr29 + Yr75 + 1BA + 1BB + 2BB + 6BA | |
| 71 | 蜀麦 1668 Shumai 1668 | 0 | 0 | 4 | 2 | 3 | t | t | Yr26 + Yr29 + Yr78 + YrZH58 + 1BA + 1BB + 2AA + 2BB | |
| 72 | 蜀麦 1675 Shumai 1675 | 6 | 7 | 0 | 9 | 7 | 10 | t | Yr5 + Yr26 + Yr29 + Yr78 + 1BA + 1BB + 2AA + 6BA | |
| 73 | 蜀麦 114 Shumai 114 | 6 | 6 | 0 | 2 | 6 | 5 | 30 | Yr26 + Yr29 + Yr78 + 1BA + 2AA + 2BB + 6BB | |
| 74 | 绵麦 902 Mianmai 902 | 4 | 5 | 0 | 4 | 2 | t | t | Yr5 + Yr29 + Yr78 + 1BB + 2AA + 3BA + 6BA | |
| 75 | 川幅 14 Chuanfu 14 | 3 | 1 | 2 | 0 | 6 | 20 | 100 | Yr5 + Yr26 + Yr29 + Yr75 + YrZH58 + 1BA + 1BB + 4BA + 6BA | |
| 76 | 川麦 93 Chuanmai 93 | 4 | 2 | 1 | 2 | 6 | 10 | 100 | Yr5 + Yr26 + Yr29 + 1BA + 2AA + 2BB + 6BA | |
| 77 | 兰天(选系)Lantian(selected) | 9 | 6 | 8 | 4 | 7 | 10 | 30 | Yr29 + Yr75 + Yr78 + 2AB + 2AA + 3BA + 3DA | |
| 78 | 兰天 3 号 Lantian 3 | 2 | 1 | 4 | 9 | 7 | 40 | 100 | Yr29 + Yr75 + 2AA + 2BB | |
| 79 | 兰天 15 Lantian 15 | 5 | 2 | 7 | 3 | 6 | 60 | 10 | Yr29 + Yr80 + 1BA + 2AA + 3BA + 6BA + 6BB | |
| 80 | 兰天 214 Lantian 214 | 7 | 6 | 7 | 6 | 6 | 40 | 50 | Yr29 + Yr30 + 1BB + 2AA + 2BA + 3BA | |
| 81 | 恒大 8 号 Hengda 8 | 5 | 2 | 9 | 9 | 8 | 60 | 80 | Yr5 + Yr29 + Yr75 + Yr78 + 1BA + 1BB + 2BB + 3DA | |
| 82 | 恒大 9 号 Hengda 9 | 6 | 9 | 8 | 6 | 3 | 10 | 70 | Yr5 + Yr29 + Yr75 + Yr78 + 1BB + 2AA + 2BB + 3DA | |
| 83 | 恒大 11 号 Hengda 11 | 6 | 3 | 1 | 6 | 6 | 10 | 60 | Yr5 + Yr29 + Yr75 + Yr78 + 1BA + 1BB + 2AA + 2BB + 3DA | |

(续表 1 Continued table 1)

| 编号 Code | 名称 Germplasm | 苗期抗病性鉴定 Identification of disease resistance at seedling stage | | | | | 成株期抗病性鉴定 Identification of disease resistance at adult stage | | | 基因检测 Gene testing |
|------------|---------------------|--|-------|-------|-------|----|--|-----|---|----------------------|
| | | CYR31 | CYR32 | CYR33 | CYR34 | IT | S/% | P/% | | |
| 84 | 宁春 4 号 Ningchun 4 | 8 | 3 | 2 | 9 | 8 | 10 | 80 | Yr5 + Yr29 + Yr78 + IBA + IBB + 2AA + 3BA | |
| 85 | 宁春 26 Ningchun 26 | 2 | 7 | 4 | 8 | 9 | 70 | 100 | Yr5 + Yr29 + Yr78 + Yr80 + IBA + IBB + 2AA + 6BA | |
| 86 | 宁春 51 Ningchun 51 | 4 | 2 | 1 | 7 | 7 | 5 | 70 | Yr5 + Yr29 + Yr78 + IBA + IBB + 2AA + 3BA | |
| 87 | 宁春 61 Ningchun 61 | 7 | 7 | 7 | 9 | 9 | 40 | 100 | Yr5 + Yr29 + Yr78 + IBA + IBB + 2AB + 2AA + 3BA + 6BA | |
| 88 | 宁春 811 Ningchun 811 | 5 | 3 | 8 | 6 | 7 | 5 | 10 | Yr5 + Yr29 + 2AA + 6BA + | |
| 89 | 陇春 26 Longchun 26 | 2 | 0 | 6 | 7 | 9 | 100 | 60 | Yr5 + Yr29 + Yr78 + Yr80 + IBA + IBB + 2AA + 6BA | |
| 90 | 洋麦子 Yangmaizi | 8 | 0 | 8 | 2 | 6 | t | 30 | Yr29 + Yr80 + IBB + 2AB + 3BA + 6BA + 6BB | |
| 91 | 铁普麦 Tiepumai | 9 | 2 | 1 | 8 | 9 | 5 | 80 | Yr29 + IBB + 2AA + 2AB + 2BA + 2BB + 3BA + 3DA + 6BA | |
| 92 | 墨波 1 号 Mobo 1 | 7 | 3 | 6 | 5 | 6 | 20 | 100 | Yr29 + Yr75 + Yr78 + Yr80 + YrZH58 + IBA + 2AA + 3BA + 6BA | |
| 93 | 源卓 3 号 Yuanzhuo 3 | 0 | 2 | 1 | 1 | 6 | 5 | 100 | Yr29 + IBA + 2AA + 3DA + 6BA | |
| 94 | 香农 3 号 Xiangnong 3 | 8 | 4 | 2 | 2 | 8 | 50 | 100 | Yr5 + Yr29 + Yr75 + IBA + IBB + 2AA + 2BB + 3BA + 6BA | |
| 95 | 曹选 5 号 Caoxuan 5 | 8 | 9 | 1 | 0 | 8 | 5 | 10 | Yr5 + Yr29 + Yr30 + Yr75 + IBA + 2AA + 2AB + 3BA + 3DA + 6BB | |
| 96 | 杨麦 16 号 Yangmai 16 | 4 | 1 | 0 | 2 | 3 | 5 | 100 | Yr29 + Yr82 + IBA + IBB + 2AA + 2BB | |
| 97 | 林农 20 号 Linnong 20 | 3 | 5 | 6 | 0 | 4 | 10 | 100 | Yr5 + Yr29 + Yr75 + IBB + 2AA + 3BA + 6BA + 6BB | |
| 98 | 新麦繁 4 Xinmaifan 4 | 9 | 4 | 7 | 5 | 8 | 20 | 100 | Yr26 + Yr29 + Yr30 + Yr78 + Yr80 + IBB + 2AA + 3BA + 3DA + 6BA | |
| 99 | 普冰 133 Pubing 133 | 9 | 7 | 8 | 0 | 9 | 80 | 100 | Yr5 + Yr29 + Yr75 + Yr78 + IBB + 2AA + 2BB + 3BA + 6BA | |
| 100 | 烟福 188 Yanfu 188 | 9 | 0 | 3 | 3 | 9 | 90 | 100 | Yr29 + IBA + IBB + 2AA + 2BA + 3BA + 6BA + 6BB | |
| 101 | 瀚海 304 Hanghai 304 | 9 | 2 | 8 | 4 | 9 | 90 | 100 | Yr5 + Yr29 + Yr30 + Yr80 + IBA + 2AA + 2AB + 3BA + 6BA + 6BB | |
| 102 | 京农 437 Jingnong 437 | 4 | 0 | 3 | 2 | 3 | 10 | 40 | Yr29 + Yr30 + Yr78 + IBA + IBB + 2AA + 2BA + 3BA + 6BA | |
| 103 | 吉农 469 Jinong 469 | 7 | 4 | 7 | 4 | 9 | 70 | 100 | Yr29 + Yr78 + Yr80 + YrZH58 + IBA + 2AA + 3BA | |
| 104 | 青农 469 Qingnong 469 | 8 | 5 | 9 | 2 | 9 | 20 | 100 | Yr29 + Yr75 + IBA + IBB + 2AA + 3BA + 6BA + 6BB | |
| 105 | 山早 901 Shanhan 901 | 6 | 8 | 7 | 6 | 8 | 10 | 10 | Yr29 + Yr80 + YrZH58 + IBA + 2AA + 3BA + 6BA + 6BB | |
| 106 | 兰考 906 Lankao 906 | 1 | 8 | 7 | 0 | 8 | 20 | 100 | Yr5 + Yr29 + Yr78 + IBB + 2AB + 2BB + 3BA + 6BA | |
| 107 | 航选 721 Hangxuan 721 | 1 | 2 | 0 | 1 | 3 | 5 | t | Yr29 + Yr75 + Yr78 + 2AA + 2AB + 3BA + 3DA | |
| 108 | YQN202101 | 0 | 0 | 0 | 1 | 2 | 5 | 40 | Yr5 + Yr29 + Yr75 + Yr78 + YrZH58 + IBA + IBB + 2AA + 2BB + 3BA + 4BA + 6BA | |
| 109 | YQN202102 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | t | t | Yr29 + Yr75 + IBA + 2BB + 6BA | |
| 110 | YQN202103 | 0 | 0 | 1 | 0 | 3 | t | 5 | Yr29 + Yr75 + IBA + 2BB + 6BA | |
| 111 | YQN202104 | 6 | 3 | 3 | 9 | 6 | 5 | 10 | Yr26 + Yr29 + Yr75 + Yr78 + Yr82 + IBA + 2AA + 2BB + 6BA | |

(续表 1 Continued table 1)

| 编号 Code | 名称 Germplasm | 苗期抗病性鉴定 Identification of disease resistance at seedling stage | | | | | 成株期抗病性鉴定 Identification of disease resistance at adult stage | | | 基因检测 Gene testing |
|------------|-----------------|--|-------|-------|-------|----|--|-----|--|----------------------|
| | | CYR31 | CYR32 | CYR33 | CYR34 | IT | S/% | P/% | | |
| 112 | YQN202105 | 9 | 4 | 9 | 8 | 6 | 10 | 30 | Yr26 + Yr29 + Yr75 + Yr78 + Yr82 + 1BA + 2AA + 2BB + 6BA | |
| 113 | YQN202106 | 9 | 0 | 7 | 6 | 9 | 10 | 80 | Yr26 + Yr29 + Yr75 + Yr78 + 1BA + 2AA + 2BB + 6BA | |
| 114 | YQN202107 | 9 | 6 | 8 | 6 | 7 | 5 | 10 | Yr26 + Yr29 + Yr75 + Yr82 + YrZH58 + 1BA + 2AA + 2BB + 6BA | |
| 115 | YQN202108 | 9 | 2 | 7 | 4 | 6 | 5 | 40 | Yr29 + Yr75 + Yr80 + YrZH58 + 1BA + 2AA + 3BA + 6BA + 6BB | |
| 116 | YQN202109 | 7 | 0 | 9 | 6 | 4 | 5 | t | Yr26 + Yr29 + Yr75 + Yr78 + Yr82 + 1BA + 2AA + 2BB + 6BA Yr30 + Yr80 + 2BB + 3BA + 6BA | |
| 117 | YQN202110 | 9 | 1 | 9 | 5 | 6 | 5 | 90 | Yr30 + Yr80 + 2BB + 3BA + 6BA | |
| 118 | YQN202111 | 6 | 3 | 5 | 6 | 1 | t | t | Yr5 + Yr26 + Yr29 + Yr75 + YrZH58 + 1BA + 2AA + 6BA | |
| 119 | YQN202112 | 8 | 2 | 5 | 5 | 6 | 5 | 90 | Yr5 + Yr26 + Yr29 + Yr78 + YrZH58 + 1BB + 2AA + 6BA | |
| 120 | YQN202113 | 5 | 1 | 2 | 5 | 1 | t | t | Yr5 + Yr26 + Yr29 + Yr78 + Yr82 + 1BA + 2AA + 6BA | |
| 121 | YQN202114 | 8 | 0 | 2 | 4 | 6 | 10 | 80 | Yr5 + Yr26 + Yr29 + Yr78 + Yr82 + 1BA + 2AA + 6BA | |
| 122 | YQN202115 | 8 | 0 | 9 | 8 | 7 | 10 | 80 | Yr5 + Yr26 + Yr29 + Yr78 + Yr82 + 1BA + 2AA + 2BB + 6BA | |
| 123 | YQN202116 | 9 | 7 | 7 | 8 | 5 | 5 | 80 | Yr5 + Yr26 + Yr29 + Yr82 + Yr78 + 1BB + 2AA + 2AB + 3BA + 6BA + 6BB | |
| 124 | YQN202117 | 8 | 7 | 8 | 6 | 1 | t | t | Yr26 + Yr29 + Yr75 + Yr78 + 1BA + 2AA + 2BB + 6BA | |
| 125 | YQN202118 | 6 | 2 | 3 | 8 | 1 | t | t | Yr5 + Yr26 + Yr29 + Yr75 + Yr78 + Yr82 + YrZH58 + 1BA + 2AA + 6BA | |
| 126 | YQN202119 | 9 | 0 | 2 | 8 | 6 | 5 | 70 | Yr5 + Yr29 + Yr78 + 1BB + 2AB + 2AA + 2BB + 3BA + 6BA + 6BB | |
| 127 | YQN202120 | 9 | 0 | 8 | 9 | 7 | 5 | 70 | Yr5 + Yr29 + Yr78 + 1BB + 2AA + 2AB + 2BB + 3BA + 6BA + 6BB | |
| 128 | YQN202121 | 9 | 6 | 2 | 9 | 7 | 5 | t | Yr5 + Yr29 + Yr75 + Yr78 + 1BB + 2AA + 6BB | |
| 129 | YQN202122 | 4 | 1 | 1 | 8 | 1 | t | t | Yr26 + Yr78 + Yr82 + 2AA + 6BA | |
| 130 | YQN202123 | 6 | 0 | 0 | 9 | 6 | 5 | 40 | Yr29 + Yr78 + YrZH58 + 1BA + 1BB + 2AA + 2BA + 2BB + 3BA + 4BA + 6BA | |
| 131 | YQN202124 | 9 | 9 | 0 | 9 | 7 | 5 | 60 | Yr29 + Yr78 + YrZH58 + 1BA + 1BB + 2AA + 2BA + 2BB + 3BA + 4BA + 6BA | |
| 132 | YQN202125 | 9 | 3 | 2 | 9 | 7 | 5 | 90 | Yr29 + Yr75 + Yr78 + YrZH58 + 1BA + 1BB + 2AA + 2BA + 2BB + 3BA + 4BA + 6BA 2BA + 2BB + 3BA + 4BA + 6BA | |
| 133 | YQN202126 | 5 | 0 | 5 | 9 | 7 | 5 | 10 | Yr29 + Yr78 + YrZH58 + 1BA + 1BB + 2AA + 2BA + 2BB + 3BA + 4BA + 6BA | |
| 134 | YQN202127 | 5 | 0 | 0 | 9 | 3 | 5 | 70 | Yr29 + Yr30 + Yr75 + Yr80 + YrZH58 + 2AA + 2BA + 2BB + 3BA + 6BA + 6BB | |
| 135 | YQN202128 | 4 | 0 | 0 | 9 | 6 | 10 | 60 | Yr29 + Yr80 + YrZH58 + 2AA + 2BA + 3BA + 3DA + 6BA + 6BB | |
| 136 | YQN202129 | 9 | 0 | 2 | 9 | 6 | 5 | 40 | Yr29 + Yr80 + YrZH58 + 2AA + 2BA + 3BA + 3DA + 6BB | |
| 137 | YQN202130 | 8 | 2 | 7 | 8 | 6 | 5 | 70 | Yr29 + Yr78 + Yr80 + YrZH58 + 2AA + 2BB + 3BA + 3DA + 6BB | |
| 138 | YQN202131 | 0 | 3 | 0 | 9 | 9 | 10 | 60 | Yr29 + Yr75 + 2AA + 3BA + 3DA + 6BA + 6BB | |

(续表 1 Continued table 1)

| 编号 Code | 名称 Germplasm | 苗期抗病性鉴定 Identification of disease resistance at seedling stage | | | | | 成株期抗病性鉴定 Identification of disease resistance at adult stage | | | P/% | 基因检测 Gene testing | |
|------------|-----------------|--|-------|-------|-------|----|--|-----|-----|-----|----------------------|---|
| | | CYR31 | CYR32 | CYR33 | CYR34 | IT | S/% | t | P/% | | | |
| 139 | YQN202132 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | t | t | Yr5 + Yr26 + Yr29 + Yr82 + Yr75 + IBA + 2AA + 3BA + 6BA + 6BB |
| 140 | YQN202133 | 7 | 0 | 2 | 8 | 1 | 1 | 1 | 1 | t | t | Yr5 + Yr29 + Yr78 + Yr80 + YrZH58 + IBA + 1BB + 2AA + 3BA + 6BB |
| 141 | YQN202134 | 0 | 1 | 0 | 0 | 3 | 5 | 70 | 70 | 70 | 70 | Yr29 + Yr75 + Yr78 + Yr80 + YrZH58 + YrSP + IBA + 1BB + 2AA + 6BB |
| 142 | YQN202135 | 6 | 4 | 3 | 7 | 7 | 5 | 10 | 10 | 10 | 10 | Yr29 + Yr78 + YrZH58 + IBA + 1BB + 2AA + 2BA + 2BB + 3BA + 4BA + 6BA |
| 143 | YQN202136 | 7 | 7 | 2 | 8 | 3 | 3 | 30 | 30 | 30 | 30 | Yr29 + Yr78 + YrZH58 + IBA + 1BB + 2AA + 2BA + 2BB + 3BA + 4BA + 6BA |
| 144 | YQN202137 | 0 | 0 | 2 | 2 | 1 | 1 | 50 | 50 | 50 | 50 | Yr5 + Yr29 + Yr75 + Yr78 + YrZH58 + 2AA + 3BA + 6BB |
| 145 | YQN202138 | 0 | 1 | 0 | 4 | 1 | 1 | 5 | 5 | 5 | 5 | Yr5 + Yr29 + Yr75 + Yr78 + YrZH58 + 2AA + 3BA + 6BB |
| 146 | YQN202139 | 1 | 8 | 8 | 7 | 1 | 1 | t | t | t | t | Yr5 + Yr29 + Yr75 + Yr78 + YrZH58 + 2AA + 3BA + 4BA + 6BB |
| 147 | YQN202140 | 6 | 0 | 2 | 9 | 6 | 5 | 40 | 40 | 40 | 40 | Yr29 + Yr78 + YrZH58 + IBA + 1BB + 2AA + 2BA + 2BB + 3BA + 4BA + 6BA |
| 148 | YQN202141 | 7 | 0 | 0 | 9 | 3 | 3 | t | t | t | t | Yr5 + Yr29 + Yr80 + Yr78 + 1BB + 2AA + 3BA + 6BB |
| 149 | YQN202142 | 5 | 0 | 3 | 4 | 1 | 1 | t | t | t | t | Yr29 + Yr30 + Yr80 + YrZH58 + IBA + 2AA + 2BA + 3BA + 3DA + 6BA |
| 150 | YQN202143 | 5 | 1 | 6 | 6 | 1 | 1 | t | t | t | t | Yr29 + Yr78 + Yr80 + YrZH58 + 2AA + 3BA + 4BA + 6BB |
| 151 | YQN202144 | 3 | 0 | 2 | 8 | 6 | 6 | t | t | t | t | Yr5 + Yr29 + Yr75 + Yr78 + YrZH58 + 2AA + 3BA + 6BB |
| 152 | YQN202145 | 6 | 9 | 1 | 9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | Yr29 + Yr80 + YrZH58 + IBA + 2AA + 3BA + 6BA + 6BB |
| 153 | YQN202146 | 2 | 7 | 9 | 5 | 9 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | Yr29 + Yr75 + Yr78 + Yr80 + 2AA + 3BA + 6BB |
| 154 | YQN202147 | 3 | 3 | 2 | 7 | 6 | 6 | 5 | 70 | 70 | 70 | Yr29 + Yr75 + Yr78 + Yr80 + YrZH58 + IBA + IBB + 2AA + 3BA + 6BB |
| 155 | YQN202148 | 5 | 0 | 3 | 9 | 7 | 10 | 80 | 80 | 80 | 80 | Yr29 + Yr75 + Yr78 + YrZH58 + IBA + IBB + 2AA + 2BA + 2BB + 3BA + 4BA + 6BA |
| 156 | YQN202149 | 7 | 8 | 5 | 9 | 6 | 10 | t | t | t | t | Yr5 + Yr29 + Yr75 + Yr78 + YrZH58 + IBB + 2AA + 3BA + 4BA |
| 157 | YQN202150 | 8 | 0 | 9 | 9 | 6 | 10 | 90 | 90 | 90 | 90 | Yr29 + Yr75 + Yr78 + YrZH58 + IBA + IBB + 2AA + 2BA + 2BB + 3BA + 4BA + 6BA |
| 158 | TM1165 | 3 | 8 | 2 | 5 | 3 | 20 | 90 | 90 | 90 | 90 | Yr5 + Yr29 + Yr80 + YrZH58 + IBA + IBB + 2AA + 3BA + 6BB |
| 159 | TM1428 | 2 | 3 | 0 | 0 | 4 | 10 | 80 | 80 | 80 | 80 | Yr29 + Yr80 + YrZH58 + IBA + 2AA + 3BA + 6BB |
| 160 | TM1542 | 0 | 0 | 1 | 1 | 6 | 20 | 90 | 90 | 90 | 90 | Yr29 + Yr75 + Yr78 + YrZH58 + IBA + 2AA + 2BB + 6BA |
| 161 | TM04128 | 3 | 0 | 2 | 0 | 3 | 5 | 90 | 90 | 90 | 90 | Yr29 + Yr80 + YrZH58 + IBA + IBB + 2AA + 3BA + 6BA + 6BB |
| 162 | TM13066 | 2 | 2 | 1 | 0 | 2 | 10 | 90 | 90 | 90 | 90 | Yr29 + Yr78 + YrZH58 + IBA + IBB + 2AA + 3BA + 6BA + 6BB |
| 163 | TM13463 | 3 | 2 | 1 | 1 | 2 | 20 | 90 | 90 | 90 | 90 | Yr29 + YrZH58 + IBA + 2AA + 3BA + 6BA + 6BB |
| 164 | TM13352 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | Yr29 + Yr30 + Yr78 + IBA + IBB + 2AA + 2BB + 3BA + 6BA |

(续表 1 Continued table 1)

| 编号 Code | 名称 Germlasm | 苗期抗病性鉴定 Identification of disease resistance at seedling stage | | | | 成株期抗病性鉴定 Identification of disease resistance at adult stage | | | P / % | 基因检测 Gene testing |
|------------|----------------|--|-------|-------|-------|--|-------|-----|--|----------------------|
| | | CYR31 | CYR32 | CYR33 | CYR34 | IT | S / % | | | |
| 165 | TM14272 | 6 | 2 | 4 | 5 | 4 | 30 | 90 | Yr29 + Yr75 + Yr78 + IBA + IBB + 2AA | |
| 166 | TM0419282 | 6 | 3 | 1 | 2 | 5 | 60 | 90 | Yr29 + Yr80 + YrZH58 + IBA + 2AA + 2BB + 3BA + 6BB | |
| 167 | 198-3 | 5 | 5 | 3 | 5 | 6 | 5 | 40 | Yr5 + Yr26 + Yr29 + Yr78 + IBA + IBB + 2AA + 2BB | |
| 168 | 294-1 | 3 | 3 | 6 | 0 | 3 | t | 40 | Yr29 + Yr78 + YrZH58 + IBA + IBB + 2AA + 3BA + 6BB | |
| 169 | 2021210-2 | 7 | 4 | 2 | 7 | 3 | 5 | 90 | Yr26 + Yr29 + Yr30 + Yr78 + IBA + 2AB + 2AA + 2BB + 3BA | |
| 170 | 2021217-1 | 4 | 0 | 4 | 2 | 6 | 5 | 90 | Yr26 + Yr29 + Yr78 + IBA + IBB + 2AB + 2AA | |
| 171 | 2022199-1 | 7 | 2 | 3 | 2 | 7 | 5 | 90 | Yr26 + Yr29 + Yr78 + IBA + IBB + 2AB + 2AA + 2BB | |
| 172 | 2022234-1 | 2 | 0 | 0 | 0 | 1 | t | 10 | Yr29 + IBB + 2AA + 3BA + 6BA + 6BB | |
| 173 | 2022244 | 0 | 0 | 2 | 3 | 1 | t | 70 | Yr29 + Yr30 + Yr78 + IBA + 2AA + 2BB + 3BA + 6BA + 6BB | |
| 174 | 2022252-1 | 2 | 7 | 8 | 0 | 9 | 10 | 90 | Yr29 + Yr5 + Yr30 + Yr75 + IBA + 2AA + 3BA + 6BA | |
| 175 | 2022257-1 | 3 | 7 | 2 | 0 | 8 | 10 | 9 | Yr29 + Yr30 + Yr75 + IBA + 2AA + 2BB + 3BA | |
| 176 | 2022258 | 7 | 2 | 2 | 1 | 1 | t | 80 | Yr29 + Yr30 + IBA + 2AA + 2BB + 3BA | |
| 177 | 2022261 | 3 | 1 | 2 | 2 | 9 | 10 | 90 | Yr29 + Yr78 + IBA + 2AA + 2BB + 3BA | |
| 178 | 2022269-1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | t | 60 | Yr29 + Yr30 + Yr78 + 2AA + 3BA | |
| 179 | 2022429 | 2 | 0 | 1 | 0 | 8 | 10 | 100 | Yr29 + Yr78 + IBA + IBB + 2AA + 3BA + 6BA | |
| 180 | 2022430-1 | 1 | 0 | 7 | 0 | 9 | 10 | 90 | Yr29 + Yr78 + IBA + IBB + 2AA + 3BA + 6BA | |
| 181 | 2020186 | 1 | 2 | 0 | 0 | 7 | 5 | 80 | Yr29 + Yr30 + Yr78 + IBA + IBB + 2AA + 3BA + 6BA | |
| 182 | 2020159 | 9 | 7 | 5 | 6 | 7 | 80 | 100 | Yr5 + Yr29 + Yr30 + Yr75 + Yr78 + IBA + IBB + 2AB + 2AA + 3BA + 3DA + 6BB + 6BA | |
| 183 | 2018121 | 6 | 2 | 1 | 2 | 6 | 5 | 40 | Yr5 + Yr29 + Yr30 + Yr78 + YrZH58 + IBA + IBB + 2AA + 3BA + 6BA | |
| 184 | HC1226 | 2 | 0 | 3 | 7 | 6 | 5 | 10 | Yr29 + Yr78 + IBA + 2AA + 3BA | |
| 185 | 21-07 | 0 | 0 | 3 | 0 | 2 | t | t | Yr29 + Yr30 + Yr78 + IBA + IBB + 2AA + 2BB + 3BA + 6BA | |
| 186 | 13-33 | 1 | 2 | 0 | 1 | 2 | t | t | Yr29 + Yr30 + YrZH58 + IBA + IBB + 2AA + 2AB + 3BA + 6BA + 6BB | |
| 187 | 14-29-3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | t | t | Yr29 + Yr30 + Yr78 + YrZH58 + IBA + IBB + 2AA + 2BB + 3BA + 6BA | |
| 188 | 14-28 | 1 | 4 | 2 | 2 | 5 | 5 | 10 | Yr29 + Yr80 + YrZH58 + IBA + 2AA + 3BA + 6BB | |

(续表 1 Continued table 1)

| 编号 Code | 名称 Germplasm | 苗期抗病性鉴定 Identification of disease resistance at seedling stage | | | | 成株期抗病性鉴定 Identification of disease resistance at adult stage | | | P / % | 基因检测 Gene testing |
|------------|-----------------|--|-------|-------|-------|--|-------|-------|---|----------------------|
| | | CYR31 | CYR32 | CYR33 | CYR34 | IT | S / % | P / % | | |
| 189 | 15-4-3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | t | t | Yr29 + Yr30 + Yr78 + 1BA + 1BB + 2AA + 2BB + 3BA + 6BA | |
| 190 | 15-5-3 | 2 | 0 | 1 | 0 | 2 | t | t | Yr29 + Yr30 + Yr78 + 1BA + 1BB + 2AA + 3BA + 2BB + 6BA | |
| 191 | 19300-1 | 0 | 2 | 4 | 3 | 7 | 10 | 60 | Yr5 + Yr29 + Yr30 + Yr78 + 1BA + 2AA + 3BA | |
| 192 | 19299-5 | 4 | 1 | 4 | 1 | 7 | 60 | 80 | Yr29 + Yr80 + Yr78 + 1BA + 2AA + 3BA | |
| 193 | YZ237 | 7 | 0 | 0 | 1 | 2 | t | t | Yr29 + Yr80 + 1BA + 2AA + 3BA + 6BA + 6BB | |
| 194 | YZ289 | 0 | 2 | 1 | 5 | 4 | t | t | Yr29 + Yr78 + YrZH58 + 2AA + 2BB + 3BA + 6BA | |
| 195 | YZ361 | 0 | 2 | 2 | 0 | 5 | 5 | 40 | Yr29 + YrZH58 + 2AA + 2BB + 3BA + 6BA | |
| 196 | Hysm-19-22 | 9 | 0 | 4 | 0 | 7 | 40 | 20 | Yr29 + Yr78 + 2AA + 2AB + 2BB + 6BA | |
| 197 | YNI | 6 | 6 | 5 | 9 | 3 | 10 | 90 | Yr29 + Yr78 + 1BA + 2AA + 3BA | |
| 198 | Hxhm21-12 | 9 | 2 | 7 | 9 | 6 | 10 | 90 | Yr29 + Yr30 + 2AA + 2BB + 3BA + 6BA | |
| 199 | 04-12-8 | 1 | 3 | 2 | 0 | 2 | 10 | 90 | Yr29 + Yr80 + YrZH58 + 1BA + 1BB + 2AA + 3BA + 6BA + 6BB | |
| 200 | GYL633 | 7 | 7 | 3 | 9 | 9 | 100 | 100 | Yr26 + Yr29 + Yr30 + 1BB + 2BB + 6BA | |
| 201 | 13-45-6 | 0 | 2 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | Yr29 + Yr30 + Yr78 + YrZH58 + 1BA + 1BB + 2AA + 2BB + 3BA + 6BA | |
| 202 | 13-46-3 | 1 | 0 | 2 | 4 | 3 | 20 | 90 | Yr29 + YrZH58 + 1BA + 2AA + 3BA + 6BA + 6BB | |
| 203 | 1446 | 6 | 0 | 1 | 0 | 2 | 5 | 90 | Yr29 + Yr30 + 1BA + 1BB + 2AA + 2BB + 3BA + 6BA + 6BB | |
| 204 | 2020210 | 9 | 9 | 3 | 3 | 3 | 10 | 90 | Yr26 + Yr29 + Yr78 + 1BA + 1BB + 2AA + 2AB + 2BB | |
| 205 | 14-57-2 | 0 | 2 | 0 | 0 | 6 | 10 | 70 | Yr29 + Yr30 + Yr80 + YrZH58 + 1BA + 1BB + 2AA + 2BB + 3BA + 6BA + 6BB | |
| 206 | YGW-46 | 9 | 5 | 9 | 8 | 2 | 5 | 90 | Yr29 + Yr30 + Yr75 + Yr78 + 1BA + 2AA + 3BA + 6BA | |
| 207 | 13-35-2 | 0 | 2 | 2 | 3 | 0 | 0 | 0 | Yr29 + Yr30 + Yr78 + 1BA + 1BB + 2AA + 2BB + 3BA + 6BA | |
| 208 | Hxsm20-2 | 9 | 4 | 2 | 2 | 6 | 10 | 90 | Yr5 + Yr26 + Yr29 + 1BA + 1BB + 2AA + 2BB + 3BA + 6BA | |

IT: 反应型; S: 病害严重度; P: 病叶普遍率; t: 已发病, 严重度或普遍率低于 1%。

IT: Reactive type; S: Disease severity; P: Infected leaves incidence; t: Invasion, less than 1% severe.

1BA; QYr_{sn}, nwaifu-1BL; 1BB; QYr_{sn}, nwaifu-2BL; 2BB; QYr_{qm}, nwaifu-2BL; 3BA; QYr, nwaifu-3BS; 3DA; QYr_{sn}, nwaifu-3DL; 4BA; QYr, nwaifu-4BL; 6BA; QYr_{qm}, nwaifu-6BS; 6BB; QYr_{sn}, nwaifu-6BS (根据 QTL 所在的染色体 + 字母编号对试验涉及的 QTL 进行编号处理。The QTLs involved in the experiment were numbered according to the chromosome + letter numbering of the QTL.)

2.2 小麦种质资源成株期抗条锈性评价

小麦品种成株期抗条锈性鉴定结果(表1)显示,青春38、青麦5号、青麦7号和高原776等125份材料表现成株抗条锈性,占供试材料的60.1%;其中74份材料表现为全生育期抗性,占供试材料的35.6%。

2.3 小麦种质资源抗病基因分子检测

对208份青海小麦种质资源进行抗条锈基因检测结果(表1)表明,青麦7号等204份材料可能携带 $Yr29$ 基因,占供试材料的98.1%;青麦5号、青麦7号、青麦10号等114份材料可能携带 $Yr78$ 基因,占供试材料的54.8%;青加1号、墨引2号、高原V028等70份材料可能携带 $YrZH58$ 基因,占供试材料的33.6%;宁春4号、绵麦902、蜀麦1675等66份材料可能携带 $Yr5$ 基因,占供试材料的31.7%;高原506、新哲9号、高原584等59份材料可能携带有 $Yr75$ 基因,占供试材料的28.4%;青春38、青麦5号、青麦7号等54份材料可能携带 $Yr80$ 基因,占供试材料的26.0%;互助红、青加1号、互麦13号等45份材料可能携带有 $Yr30$ 基因,占供试材料的21.6%;高原213、高原225、GYL633等31份材料可能携带 $Yr26$ 基因,占供试材料的14.9%;青麦10号、Norwell、蜀麦580等16份材料可能携带 $Yr82$ 基因,占供试材料的7.7%;YQN202134可能携带 $YrSP$ 基因,占供试材料的0.5%;青春38、青麦5号、青麦7号等193份材料可能携带 $QYrqin-2AL$ 基因,占供试材料的92.8%;青春38、青麦5号、青麦7号等168份材料可能携带 $QYr-3BS$ 基因,占供试材料的80.8%;青麦5号、青麦7号、高原314等147份材料可能携带 $QYrsn.nwafu-1BL$,占供试材料的70.7%;蜀麦1675、高原196、高原813等124份材料可能携带 $QYrqin-6BS$ 基因,占供试材料的59.6%;青春38、青麦5号、高原602、宁春4号、绵麦902等107份材料可能携带 $QYrxn-1BL$ 基因,占供试材料的51.4%;青麦10号、高原448、高原776等86份材料可能携带有 $QYrqin-2BL$ 基因,占供试材料的41.3%;高原196、互助红、蜀麦114等77份材料可能携带 $QYrsn-6BS$ 基因,占供试材料的37.0%;青麦7号、Norwell、Major等36份材料可能携带 $QYrsn-2AS$ 基因,占供试材料的17.3%;高原175、高原V028、阿勃等26份材料可能携带 $QYrsn-3DL$ 基因,占供试材料的12.5%;青加1号、铁普麦、烟福188等20份品种可能携带 $QYrhm-2BC$ 基因,占供试材料的9.6%;川幅14、柴春018、高原175等18份材料

可能携带 $QYr-4BL$ 基因,占供试材料的8.7%。

在检测到的21个 Yr 基因中, $Yr26$ 、 $Yr82$ 、 $YrSP$ 和 $QYr.nwafu-4BL$ 与小麦的全生育期抗性(all stage resistance, ASR)相关。但在74份全生育期抗条锈病的材料中,仅有18份材料具有上述4个基因位点(至少有一个位点),推测青海种质资源中除了芯片中与全生育期抗性相关的4个基因外,还含有其他未检测到或未知的相关基因。此外,与成株抗性相关的基因位点有6个,分别是 $Yr29$ 、 $Yr30$ 、 $Yr75$ 、 $Yr78$ 、 $Yr80$ 、 $QYrqin.nwafu-2BL$ 。芯片检测结合表型结果表明,125份成株期抗条锈性的材料均具有2个以上的上述6个基因位点,其中有53份(25.5%)材料具有3个以上的上述6个基因位点。 $Yr29$ 基因不仅是成株期抗性基因,还具有控制慢锈的特性^[27]。抗性基因检测结合表型鉴定结果表明,成株期抗性材料中,青春38、青春39等123份材料均具有 $Yr29$ 基因。

2020159最多含有14个抗病基因,但是2020159的全生育期条锈病抗性并不理想,推测可能是一些抗病基因之间存在拮抗作用,导致整体的抗病性表现不佳,值得进一步研究。此外,YQN202147含有13个抗病基因。在所有供试材料中,204份(98.1%)材料均含有 $Yr29$ 基因,193份(92.8%)材料含有 $QYrqin-2AL$ 基因,168份(80.8%)材料含有 $QYr-3BS$ 基因。

3 讨论

青海省地处青藏高原东北部,地势多样。随着全球气候的变暖和耕作制度的变革,在2000年以来中国北方冬小麦扩种的发展形势的影响下,青海省东部冬小麦种植面积不断扩大^[28]。青海东部作为中国条锈菌越冬易变区,条锈菌传播与秋季自生苗生长相衔接,自生苗发病情况直接决定了冬前菌源量。小麦条锈病除了在区内往返传播循环外,还通过夏孢子的远程传播危害到中国东部广大麦区,因此全生育期抗性品种和抗病基因的利用对青海小麦条锈菌防控有重要意义。准确把握小麦种质资源的抗病性以及抗性基因的分布,不仅对青海省的小麦条锈病综合治理提供理论依据,而且对指导全国条锈病的源头治理,实施“控点保面、控西保东、控南保北”策略具有重要战略意义。本研究对208份青海的小麦种质资源进行全苗期及成株期抗病性鉴定,对4个小种苗期均抗病的材料占38.5%,具有全生育期抗性材料的占35.6%。陈建雄等^[29]对来自甘肃的62份小麦种质资源进行苗期及成株期抗病性鉴定,对4

个小种苗期均抗病的材料占 41.9%，具有全生育期抗性的材料占 38.7%，经过与甘肃省的小麦材料进行对比发现，青海省的品种抗性整体上劣于甘肃省，这与赵旭阳等^[30]对青藏春冬麦区 93 份地方小麦品种抗病性评价结果相差不大。在抗病育种实践中，单一抗源或抗病基因大规模的使用容易导致品种抗性快速丧失，从而引起条锈病的大爆发流行^[31]。因此，准确评估抗病品种或后备品系的抗病基因组成是抗病基因合理布局和利用的基础。

要合理利用抗病品种，必须明确品种所携带的抗病基因。本研究中基于 SNP 的靶向测序基因型检测 GBTS 技术^[32-34]具有成本低、检测高效性、广适应性、标记灵活性高、信息可加性、应用广谱性等特点，适合于动物、植物和微生物等所有生物遗传变异和基因型的检测，有望成为各种生物可以共享的技术和平台，并广泛应用于种质资源评价、遗传图谱构建、基因定位和克隆、分子标记辅助选择等领域^[35]。在小麦的分子育种工作中，利用该技术可快速筛选分析种质资源，确定参与育种的亲本材料是否携带优良基因和优异等位变异等^[36]。Gaurav Kumar 等^[37]对锈病抗性基因的定位和克隆是一个颇具代表性的实例。近年来的鉴定和研究结果表明，单个基因抗性最好且久经考验的是 *Yr5* 和 *Yr15* 等少数具有全生育期抗性的抗条锈病基因。小麦抗条锈病基因 *Yr5* 是目前国内外少有的对几乎所有条锈病菌系具有抗性的抗条锈病基因，在小麦抗条锈病育种中具有重要的应用价值。Marchal Clemence 等^[38]发现，*Yr7* 和 *Yr5* 的 DNA 序列在整个基因中的同源性为 77.9%，而 *YrSP* 是 *Yr5* 的截短版本，且 *Yr5* 和 *YrSP* 是等位基因，是紧密相关的序列。张小娟等^[39]对 95 份青海省小麦种质资源进行抗病基因分子检测，结果显示 *Yr5* 的检出率为 78%；袁飞敏等^[40]对青藏高原 197 份小麦品种(系)及种质资源进行抗病基因分子检测，结果显示含 *Yr5* 基因的品种占总数的 10.6%，高于大多数其他检测抗病基因。在本研究中有 66 份材料含有 *Yr5* 基因，占供试材料的 31.7%，其中 22 份含 *Yr5* 基因的材料为全生育期抗性，31 份含 *Yr5* 基因的材料在成株期表现为感病，所以对于含有 *Yr5* 基因的小麦品种在今后的育种中要减少使用。所有的全生育期抗病材料都具有 *Yr29* 基因。陈建雄等^[29]对甘肃省 62 份主栽小麦品种进行抗病基因检测发现，*Yr30* 及 *Qyrqin.nwafu-4BL* 等成株期抗病基因的叠加，增强了材料在田间的抗病表现。本

研究在此基础上发现，抗病基因 *QYrsn.nwafu-2BL*、*Yr78* 的叠加也能增强材料在田间的抗病表现。

本研究对青海省 208 份小麦种质资源开展了抗条锈性系统研究，发现仅有 74 份材料表现为全生育期抗性，抗性水平较低。这与袁飞敏等^[40]和赵旭阳等^[30]对青藏春冬麦区 93 份地方小麦品种抗病性评价结果相似。鉴于此，为了提高青海省小麦的抗病性水平，要进一步加大抗病小麦种质资源的推广力度和利用，建议对田间抗性良好且可能携带未知抗性基因的地方种质进行发掘利用。

参考文献:

- [1] 陈万权, 康振生, 马占鸿, 等. 中国小麦条锈病综合治理理论与实践[J]. 中国农业科学, 2013, 46(20): 4255.
CHEN W Q, KANG Z S, MA Z H, et al. Theory and practice of integrated management of wheat stripe rust in China [J]. *Chinese Agricultural Sciences*, 2013, 46(20): 4255.
- [2] 马占鸿. 中国小麦条锈病研究与防控[J]. 植物保护学报, 2018, 45(1): 2.
MA Z H. Researches and control of wheat stripe rust in China [J]. *Journal of Plant Protection*, 2018, 45(1): 2.
- [3] ZHU Z, CAO Q, HAN D, et al. Molecular characterization and validation of adult-plant stripe rust resistance gene *Yr86* in Chinese wheat cultivar Zhongmai 895 [J]. *Theoretical and Applied Genetics*, 2023, 136(6): 142.
- [4] ZENG Q, ZHAO J, WU J, et al. Wheat stripe rust and integration of sustainable control strategies in China [J]. *Frontiers of Agricultural Science and Engineering*, 2022, 9(1): 37.
- [5] 何中虎, 兰彩霞, 陈新民, 等. 小麦条锈病和白粉病成株抗性研究进展与展望[J]. 中国农业科学, 2011, 44(11): 2194
HE Z H, LAN C X, CHEN X M, et al. Progress and perspective in research of adult-plant resistance to stripe rust and powdery mildew in wheat [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2011: 2194.
- [6] 刘博, 刘天国, 章振羽, 等. 中国小麦条锈菌条中 34 号的发现及其致病特性[J]. 植物病理学报, 2017, 47(5): 683.
LIU B, LIU T G, ZHANG Z Y, et al. Discovery and pathogenicity of CYR34, a new race of *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* in China [J]. *Acta Phytopathologica Sinica*, 2017, 47(5): 683.
- [7] HAN D J, WANG Q L, CHEN X M, et al. Emerging *Yr26*-virulent races of *Puccinia striiformis* f. *tritici* are threatening wheat production in the Sichuan Basin, China [J]. *Plant Disease*, 2015, 99(6): 754.
- [8] 黄亮, 刘天国, 肖星芒, 等. 中国 79 个小麦品种(系)抗条锈病评价及基因分子检测[J]. 中国农业科学, 2017, 50(16): 3123.
HUANG L, LIU T G, XIAO X Z, et al. Evaluation of stripe rust resistance and molecular detection of *Yr* genes of 79 wheat varieties(lines) in China [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2017, 50(16): 3123.
- [9] ZENG Q D, HAN D J, WANG Q L, et al. Stripe rust resistance and genes in Chinese wheat cultivars and breeding lines [J]. *Euphytica*, 2014, 196(2): 271.
- [10] 曹世勤, 贾秋珍, 宋建荣, 等. 甘肃省冬小麦抗条锈菌 CYR34 育种策略[J]. 植物遗传资源学报, 2019, 20(5): 1130.
CAO S Q, JIA Q Z, SONG J R, et al. Strategies on breeding for winter wheat resistance to *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* CYR34 in Gansu Province [J]. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2019, 20(5): 1130.
- [11] 宋晓盼, 包喜悦, 刘玉洋, 等. 条形柄锈菌 34 号生理小种的分子标记[J]. 菌物学报, 2022, 41(10): 1673.
SONG X P, BAO X Y, LIU Y Y, et al. Molecular marking of

- Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* race CYR34 [J]. *Mycosystema*, 2022, 41(10): 1673.
- [12] BÖRNER A, SCHUMANN E, FÜRSTE A, et al. Mapping of quantitative trait loci determining agronomic important characters in hexaploid wheat (*Triticum aestivum* L.) [J]. *Theoretical and Applied Genetics*, 2002, 105(6): 921.
- [13] UAUY C. Wheat genomics comes of age [J]. *Current Opinion in Plant Biology*, 2017, 36: 142.
- [14] ALLEN A M, WINFIELD M O, BURRIDGE A J, et al. Characterization of a Wheat breeders' array suitable for high-throughput SNP genotyping of global accessions of hexaploid bread wheat (*Triticum aestivum*) [J]. *Plant Biotechnology Journal*, 2017, 15(3): 390.
- [15] AVNI R, NAVE M, BARAD O, et al. Wild emmer genome architecture and diversity elucidate wheat evolution and domestication [J]. *Science*, 2017, 357(6346): 93.
- [16] UAUY C, BREVIS J C, CHEN X, et al. High-temperature adult-plant (HTAP) stripe rust resistance gene *Yr36* from *Triticum turgidum* ssp. *dicoccoides* is closely linked to the grain protein content locus Gpc-B1 [J]. *Theoretical and Applied Genetics*, 2005, 112(1): 97.
- [17] CHAPMAN J A, MASCHER M, BULUÇ A, et al. A whole-genome shotgun approach for assembling and anchoring the hexaploid bread wheat genome [J]. *Genome Biology*, 2015, 16(1): 26.
- [18] JIANG H, FANG Y, YAN D, et al. Genome-wide association study reveals a NAC transcription factor TaNAC074 linked to pre-harvest sprouting tolerance in wheat [J]. *Theoretical and Applied Genetics*, 2022, 135(9): 3265.
- [19] LING H Q, ZHAO S, LIU D, et al. Draft genome of the wheat A-genome progenitor *Triticum urartu* [J]. *Nature*, 2013, 496(7443): 87.
- [20] XU Y, LI P, ZOU C, et al. Enhancing genetic gain in the era of molecular breeding [J]. *Journal of Experimental Botany*, 2017, 68(11): 2641.
- [21] RASHEED A, HAO Y F, XIA X C, et al. Crop breeding chips and genotyping platforms: Progress, challenges, and perspectives [J]. *Molecular Plant*, 2017, 10(8): 1048.
- [22] 周聪颖, 吕璇, 邓杰, 等. 青海省东部地区小麦条锈菌群体遗传结构分析 [J]. *植物病理学报*, 2023, 53(5): 922.
- ZHOU C Y, LV X, DENG J, et al. Analysis of population genetic structure of wheat stripe rust in eastern Qinghai Province [J]. *Plant Pathology*, 2023, 53(5): 922.
- [23] 张学飞, 陈建雄, 刘耀霞, 等. 44份青海小麦品种(系)抗条锈性评价及抗条锈病基因检测 [J]. *西北农林科技大学学报(自然科学版)*, 2022, 50(11): 103.
- ZHANG X F, CHEN J X, LIU Y X, et al. Stripe rust resistance evaluation and gene detection of 44 wheat varieties (lines) in Qinghai [J]. *Journal of Northwest A & F University (Natural Science Edition)*, 2022, 50(11): 103.
- [24] 蔚睿, 金彦刚, 吴舒舒, 等. 黄淮麦区小麦新品种(系)抗条锈水平与抗病基因分析 [J]. *麦类作物学报*, 2020, 40(3): 279.
- WEI R, JIN Y G, WU S S, et al. Stripe rust resistance level and disease resistance gene analysis of new wheat varieties (lines) in Huang-Huai wheat region [J]. *Journal of Wheat Crops*, 2020, 40(3): 279.
- [25] ZHANG G S, ZHAO Y Y, KANG Z S, et al. First report of a *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* race virulent to wheat stripe rust resistance gene *Yr5* in China [J]. *Plant Disease*, 2020, 104(1): 284.
- [26] GUO Z, WANG H, TAO J, et al. Development of multiple SNP marker panels affordable to breeders through genotyping by target sequencing (GBTS) in maize [J]. *Molecular Breeding*, 2019, 39(3): 37.
- [27] WILLIAM M, SINGH R P, HUERTA-ESPINO J, et al. Molecular marker mapping of leaf rust resistance gene *Lr46* and its association with stripe rust resistance gene *Yr29* in wheat [J]. *Phytopathology*®, 2003, 93(2): 153.
- [28] 姚强. 青海省小麦条锈病流行规律研究 [D]. 杨陵: 西北农林科技大学, 2018: 17.
- YAO Q. Study on the epidemic law of wheat stripe rust in Qinghai Province [D]. Yangling: Northwest A&F University, 2018: 17.
- [29] 陈建雄, 严浩浩, 曹世勤, 等. 62份甘肃小麦品种(系)抗条锈性评价及抗病基因检测 [J]. *植物病理学报*, 2023, 53(5): 884.
- CHEN J X, YAN H H, CAO S Q, et al. Evaluation of stripe rust resistance and resistance gene detection of 62 wheat varieties (lines) in Gansu [J]. *Plant Pathology*, 2023, 53(5): 884.
- [30] 赵旭阳, 姚方杰, 龙黎, 等. 青藏春冬麦区93份小麦地方种质条锈病抗性评价及抗病基因分子鉴定 [J]. *作物学报*, 2021, 47(10): 2060.
- ZHAO X Y, YAO F J, LONG L, et al. Evaluation of resistance to stripe rust and molecular detection of resistance genes of 93 wheat landraces from the Qinghai-Tibet spring and winter wheat zones [J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2021, 47(10): 2060.
- [31] 康振生, 王晓杰, 赵杰, 等. 小麦条锈菌致病性及其变异研究进展 [J]. *中国农业科学*, 2015, 48(17): 3440.
- KANG Z S, WANG X J, ZHAO J, et al. Advances in research of pathogenicity and virulence variation of the wheat stripe rust *Fungus Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2015, 48(17): 3440.
- [32] BURRIDGE A J, WILKINSON P A, WINFIELD M O, et al. Conversion of array-based single nucleotide polymorphic markers for use in targeted genotyping by sequencing in hexaploid wheat (*Triticum aestivum*) [J]. *Plant Biotechnology Journal*, 2018, 16(4): 867.
- [33] JOHNSON M G, POKORNY L, DODSWORTH S, et al. A universal probe set for targeted sequencing of 353 nuclear genes from any flowering plant designed using k-medoids clustering [J]. *Systematic Biology*, 2019, 68(4): 594.
- [34] XIANG M J, LIU S J, WANG X T, et al. Development of breeder chip for gene detection and molecular-assisted selection by target sequencing in wheat [J]. *Molecular Breeding*, 2023, 43(2): 13.
- [35] 徐云碧, 杨泉女, 郑洪建, 等. 靶向测序基因型检测 (GBTS) 技术及其应用 [J]. *中国农业科学*, 2020, 53(15): 2986.
- XU Y B, YANG Q N, ZHENG H J, et al. Targeted sequencing genotype detection (GBTS) technology and its application [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2020, 53(15): 2986.
- [36] WAUGH R, JANNINK J L, MUEHLBAUER G J, et al. The emergence of whole genome association scans in barley [J]. *Current Opinion in Plant Biology*, 2009, 12(2): 218.
- [37] GAURAV K, ARORA S, SILVA P, et al. Population genomic analysis of *Aegilops tauschii* identifies targets for bread wheat improvement [J]. *Nature Biotechnology*, 2022, 40(3): 422.
- [38] MARCHAL C, ZHANG J, ZHANG P, et al. BED-domain-containing immune receptors confer diverse resistance spectra to yellow rust [J]. *Nature Plants*, 2018, 4(9): 662.
- [39] 张小娟, 侯万伟. 青海省小麦种质资源抗条锈鉴定和抗病基因筛选 [J]. *西南农业学报*, 2021, 34(6): 1156.
- ZHANG X J, HOU W W. Stripe rust resistance identification and resistance gene screening of wheat germplasm resources in Qinghai Province [J]. *Southwest Agricultural Journal*, 2021, 34(6): 1156.
- [40] 袁飞敏, 权有娟, 刘德梅, 等. 青海高原197份小麦品种(系)及种质资源抗条锈分子鉴定 [J]. *西南农业学报*, 2019, 32(1): 1.
- YUAN F M, QUAN Y J, LIU D M, et al. Molecular identification of resistance to stripe rust in 197 wheat cultivars (lines) and germplasm resources from Qinghai Plateau [J]. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 2019, 32(1): 1.